

УДК 539.1.074

АРХИТЕКТУРА РАДИОМЕТРОВ-ДОЗИМЕТРОВ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ 32-БИТНЫХ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ

Гуркинов М.С., Левко И.А.

Белорусский государственный университет
Минск, Республика Беларусь

Для оценки количественных характеристик ионизирующего излучения (ИИ) используются приборы, получившие название радиометры, дозиметры и спектрометры. Радиометры обеспечивают определение активности и плотности потока ИИ тогда, как дозиметры позволяют измерять дозу облучения, а спектрометры – радионуклидный состав источника ИИ по энергетическим спектрам [1]. Вместе с тем практическое применение получили универсальные приборы, сочетающие в себе функции радиометра и дозиметра.

В приборах дозиметрического контроля, которые служат для решения ряда измерительных задач в медицине и различных технических областях, используются детекторы ИИ, действие которых основано, в основном, на явлении ионизации либо преобразовании энергии частиц ионизирующего излучения в световые вспышки. В первом случае происходит прямое преобразование энергии частицы в электрический импульс, во втором – требуется дополнительное оборудование для получения электрических сигналов. По этой причине до недавнего времени в переносных дозиметрах применялись только газоразрядные детекторы [2]. Ситуация изменилась с появлением твердотельных фотоэлектронных умножителей (ФЭУ), имеющих характеристики, сопоставимые с характеристиками ФЭУ электровакуумного типа [3], и существенно меньшие габариты.

Электронные приборы для регистрации ИИ имеют обобщенную функциональную схему, показанную на рисунке 1.

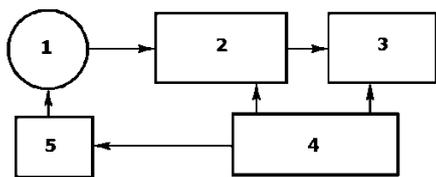


Рисунок 1 – Обобщенная функциональная схема прибора для измерения характеристик ИИ [1]:

- 1 – детектор; 2 – устройство усиления и преобразования электрических сигналов;
- 3 – регистрирующее устройство; 4 – источник питания; 5 – источник высокого напряжения

Основным преимуществом газоразрядных детекторов является то, что при их использовании устройство усиления и преобразования электрических сигналов 2 (рисунок 1) существенно упрощается.

Промышленностью выпускаются счетчики Гейгера-Мюллера с самогашением, имеющие малые габариты и рассчитанные на регистрацию частиц ИИ различного типа и энергий. Мертвое время T_M таких детекторов составляет порядка 10^{-4} с, а время полного восстановления T_B обычно превышает эту величину.

Статистическая природа актов излучения частиц источником, заранее неизвестная интенсивность источника и достаточно большое значение мертвого времени счетчиков Гейгера-Мюллера приводят к возникновению ряда проблем при работе измерительных приборов.

Для пуассоновского потока событий даже при малых загрузках детектора интервал между отдельными детектируемыми частицами может быть меньше мертвого времени T_M , что приводит к появлению просчетов. Учет этого явления обеспечивается следующим выражением [2]:

$$n_0 = \frac{n_{изм}}{1 - n_{изм}T_M}, \quad (1)$$

при условии

$$n_{изм}T_M \ll 1, \quad (2)$$

где n_0 – среднее число событий в единицу времени на входе детектора; $n_{изм}$ – среднее число зарегистрированных частиц.

При увеличении интенсивности потока событий на входе детектора до значений, при которых $n_{изм}T_M \sim 1$, выражение (1) становится недействительным и наблюдается занижение результатов измерительным прибором. Это может приводить к избыточному облучению людей и неправильной оценке экологической обстановки.

Лавинный разряд, возникающий при регистрации частицы ИИ, вызывает протекание тока через анодный резистор детектора и падение напряжения на нем, что снижает напряженность электрического поля в рабочей области детектора и предотвращает возникновение непрерывного разряда, который может вывести детектор из строя при больших нагрузках. Благодаря этому, при использовании счетчика Гейгера-Мюллера появляется возможность измерения тока потребления, на основании чего можно производить контроль превышения интенсивностью ИИ рабочего диапазона детектора и включать сигнализацию, свидетельствующую об опасности пребывания дозиметриста в данной местности.

Применение метода «время до первого импульса» (time to first count) позволяет почти на

два порядка увеличить диапазон измеряемых газоразрядным детектором интенсивностей ИИ (до 10^5 импульсов в секунду) [4], но приводит к необходимости периодического изменения напряжения питания и точного измерения временных интервалов.

Постоянное ужесточение требований радиационной безопасности обуславливает непрерывное совершенствование характеристик переносных радиометров и дозиметров, включая расширение диапазона измеряемых интенсивностей ИИ, повышение точности оценки дозы облучения, плотности потока ИИ и т. п. Лучших результатов можно достичь, применяя в одном приборе несколько детекторов, в том числе и различного типа, и соответственно несколько каналов усиления и преобразования электрических сигналов.

При этом входные измерительные каналы должны обеспечивать обработку не только дискретных, но и аналоговых сигналов, например, измерение максимального значения импульсов от детекторов ИИ, рабочих токов и напряжений.

Кроме входных измерительных каналов должны быть предусмотрены выходные каналы для управления режимами работы прибора.

В итоге современный прибор должен представлять измерительную систему, обобщенная функциональная схема которой приведена на рисунке 2.

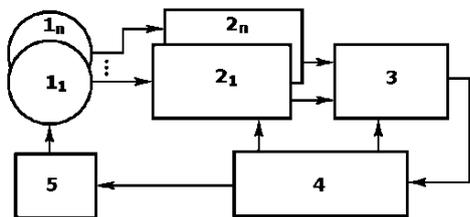


Рисунок 2 – Обобщенная функциональная схема системы для измерения характеристик ИИ:

$1_1 \div 1_n$ – детекторы; $2_1 \div 2_n$ – устройства усиления и преобразования электрических сигналов; 3 – интеллектуальное регистрирующее устройство; 4 – источник питания; 5 – управляемый источник высокого напряжения

В отличие от традиционного метода построения измерительных систем, основанных на принципе множественных измерительных каналов, для каждого из которых характерна структура, приведенная на рисунке 1, целесообразным является использование одного интеллектуального регистрирующего устройства (3) вместо набора таких устройств. Однако данный подход требует, чтобы регистрирующее устройство

обеспечивало обработку смешанных сигналов, благодаря сочетанию аналоговых и цифровых схем таких как, операционные усилители (ОУ), компараторы, аналого-цифровые (АЦП) и цифроаналоговые (ЦАП) преобразователи, таймеры и встроенное программное обеспечение.

До недавнего времени такие задачи можно было решать только с помощью специализированных сигнальных процессоров (DSP). Поступательное развитие КПОП-технологии и совершенствование архитектуры микропроцессоров ARM Cortex-M привело к снятию данного барьера. Микроконтроллеры с данной архитектурой выпускаются рядом ведущих компаний в области микроэлектроники.

В качестве обоснования данных положений можно привести линейку микроконтроллеров STM32G4 компании ST Microelectronics, построенных на базе ядра ARM Cortex-M4 [5].

Микроконтроллеры данного семейства содержат набор 16-битных и 32-битных таймеров общего назначения с временным разрешением от 11 до 6 нс, быстродействующие ОУ, компараторы, АЦП, ЦАП.

Высокая скорость вычислений обеспечивается не только за счет использования внутренней тактовой частоты 170 МГц, но и аппаратных математических сопроцессоров CORDIC (COordinate Rotation Digital Computer) и FMAC ((Filter Math Accelerator).

Данный подход позволяет создавать универсальные переносные дозиметрические приборы содержащие сцинтилляционный детектор, торцевой слюдяной газоразрядный детектор, несколько цилиндрических счетчиков Гейгера-Мюллера для расширения диапазона измеряемых интенсивностей и повышения точности и оперативности дозиметрического контроля.

Литература

1. Голубев Б.П. Дозиметрия и защита от ионизирующих излучений: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 464 с.
2. Григорьев В.А., Колубин А.А., Логинов В.А. Электронные методы ядерно-физического эксперимента. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 336 с.
3. Иванов И. Методика оценки и сравнения кремниевых фотоумножителей // Фотоника. – № 6. – 2015. – С. 70–79.
4. Knoll G.F. Radiation detection and measurement. – 4th ed. – New York, NY: Wiley, 2010. – 864 p.
5. Гавриков В. STM32G4 – новый флагман микроконтроллеров общего назначения. [Электронный ресурс] / Компания КОМПЭЛ. – КОМПЭЛ, 2020. – Режим доступа: <https://www.compel.ru/lib/138282>. – Дата доступа : 10.06.2020.